

РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВОК СОВМЕЩЁННОГО ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ И ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТА

CALCULATION OF BASIC SETTINGS COMBINED PROCESS OF CONTINUOUS CASTING AND STRAIN FOR SHEET

О.С. Лехов¹, В.В. Турлаев², А.С. Гладков¹, М.Ю. Туев¹

1. «Российский государственный профессионально-педагогический университет»

2. ООО «Уральский дизель-моторный завод»

Abstract

A new approach to the design of installations of the combined process of continuous casting and deformation, including the study of the stress-strain state of the metal in the deformation zone, the solution of the optimization of technological and structural parameters of the installation and computer-aided design.

В настоящее время в цветной металлургии всё большее распространение получают совмещённые процессы непрерывного литья и деформации для производства листовой металлопродукции, что позволяет существенно снизить энергоёмкость технологического процесса, металлоёмкость оборудования, капитальные и эксплуатационные затраты и улучшить качество листа из цветных металлов и сплавов. Предлагаемые технологии непрерывного литья основаны на объединении в одной установке процессов кристаллизации расплава металла, формирования слитка с жидкой фазой и пластической деформации затвердевшего металла. Такой совмещённый процесс непрерывного литья и деформации реализован в установке непрерывного литья и деформации для производства листа из цветных металлов и сплавов [2].

Для разработки данных прогрессивных технологических процессов необходим новый подход к решению задач проектирования установок совмещённых процессов литья и деформации. Это связано с тем, что уже на стадии проектирования установки необходимо обеспечить заданную производительность, минимальную металлоёмкость оборудования и энергоёмкость технологического процесса и получение листовой металлопродукции высокого качества. Отсюда следует, что задача создания установок

совмещённого процесса непрерывного литья и деформации весьма сложная, что обусловлено противоречивостью приведённых выше технических показателей. Например, при проектировании установки бесслитковой прокатки необходимо знать закономерности течения металла и распределения напряжений в очаге деформации, что позволит оценить качество листа и обоснованно выбрать технологические параметры процесса. Решение задач определения термоупругих напряжений в валках-кристаллизаторах и остаточных напряжений в бандаже при его горячей посадке на валок позволяют на стадии проектирования разработать рекомендации для повышения стойкости валков-кристаллизаторов установок бесслитковой прокатки. Таким образом, задача определения оптимальных параметров установок совмещённого процесса непрерывного литья и деформации весьма сложная и трудоёмкая и не может быть успешно решена традиционными методами расчёта.

Новый подход к решению изложенных выше задач проектирования рассмотрим на примере определения параметров установки совмещённого процесса непрерывного литья и деформации для производства листа сечением 2-4×1500 мм из алюминия. [1, 3]

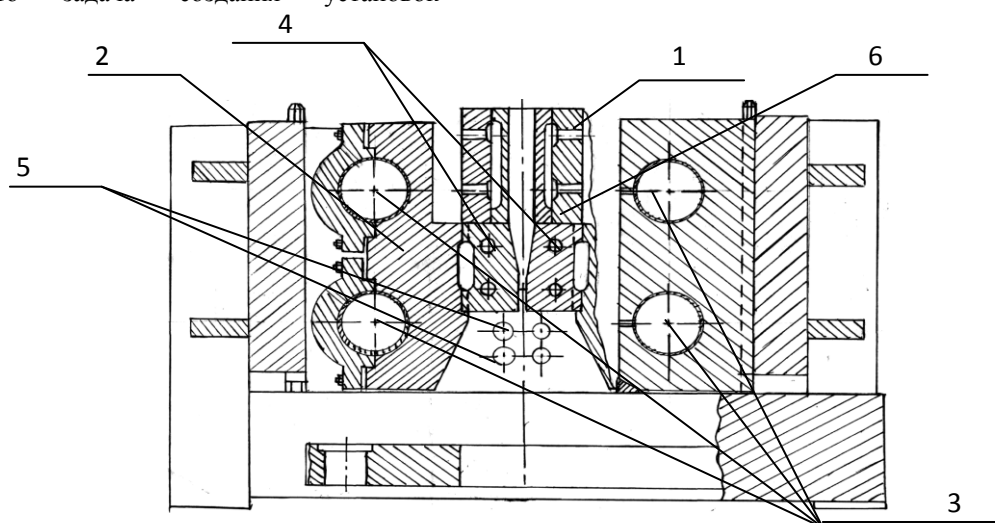


Рис. 1. Установка непрерывного литья и деформации

На рис. 1. изображено устройство для непрерывного литья и деформации заготовок. Устройство (рис. 1.) состоит из водоохлаждаемого кристаллизатора 1 и двух суппортов 2. Каждый суппорт установлен на двух эксцентриковых валах 3. К суппорту крепится стенка-боек с калибрующим участком. Боковые стенки разъемного кристаллизатора крепятся к торцам кристаллизатора 1. Рабочие поверхности боковых стенок образуют в совокупности с бойками и разъемный кристаллизатор, полость которого является продолжением полости кристаллизатора 1. Кристаллизатор 1 имеет по своей задней торцевой поверхности постоянный контакт с подвижными бойками 4, причем он прижимается к бойкам с помощью пружинного механизма. Бойки-стенки кристаллизатора 4 имеют специальные каналы 6 для подвода смазки (например, графитового порошка) с тем, чтобы исключить налипание нагретого алюминия на рабочие поверхности бойков кристаллизатора.

Во время рабочих ходов стенки-бойки разъемного кристаллизатора одновременно с формированием полосы из слитка с жидкой фазой и обжатием затвердевшего металла вытягивают слиток из кристаллизатора 1 и продвигают полосу по направлению литья. Процесс получения листа включает в себя стадии образования в неразъемном кристаллизаторе 1 замкнутой оболочки слитка с жидкой фазой расплава, формирование стенками-бойками 4 плоской заготовки за счёт изгиба боковых стенок и смыкания широких стенок

оболочки, а также циклического обжатия стенками – бойками затвердевшей заготовки и калибровки листа.

Исходные данные для расчёта. Размеры полости неразъемного кристаллизатора: ширина – 1450 мм; высота – 100 мм; рабочая длина – 200 мм. Толщина оболочки слитка с жидкой фазой на выходе из неразъемного кристаллизатора равна 8 мм, а в области смыкания широких стенок оболочки – 9 мм. Температура внешней поверхности оболочки на участке с жидкой фазой для алюминия принимаем равной 530°C, а для внутренней поверхности оболочки - 660°C.

Для обоснованного выбора параметров совмещённого процесса непрерывного литья и деформации и оценки качества листа на первом этапе проектирования следует определить напряжённо-деформируемое состояние металла в очагах деформации. Для определения напряжений и течения металла в очагах деформации при формировании полосы в зоне гибки боковых стенок оболочки с жидкой фазой расплава и при деформации затвердевшего металла использован метод конечных элементов. Для этих двух стадий процесса приняты соответственно плоская и объёмная постановка задачи теории упруго-пластичности. Для расчёта использован пакет ANSYS [1]. Значения модулей упругости и упрочнения и предела текучести для алюминия марки А5 определены в зависимости от температуры металла [1]. На рис. 2 приведена расчетная схема очага деформации.

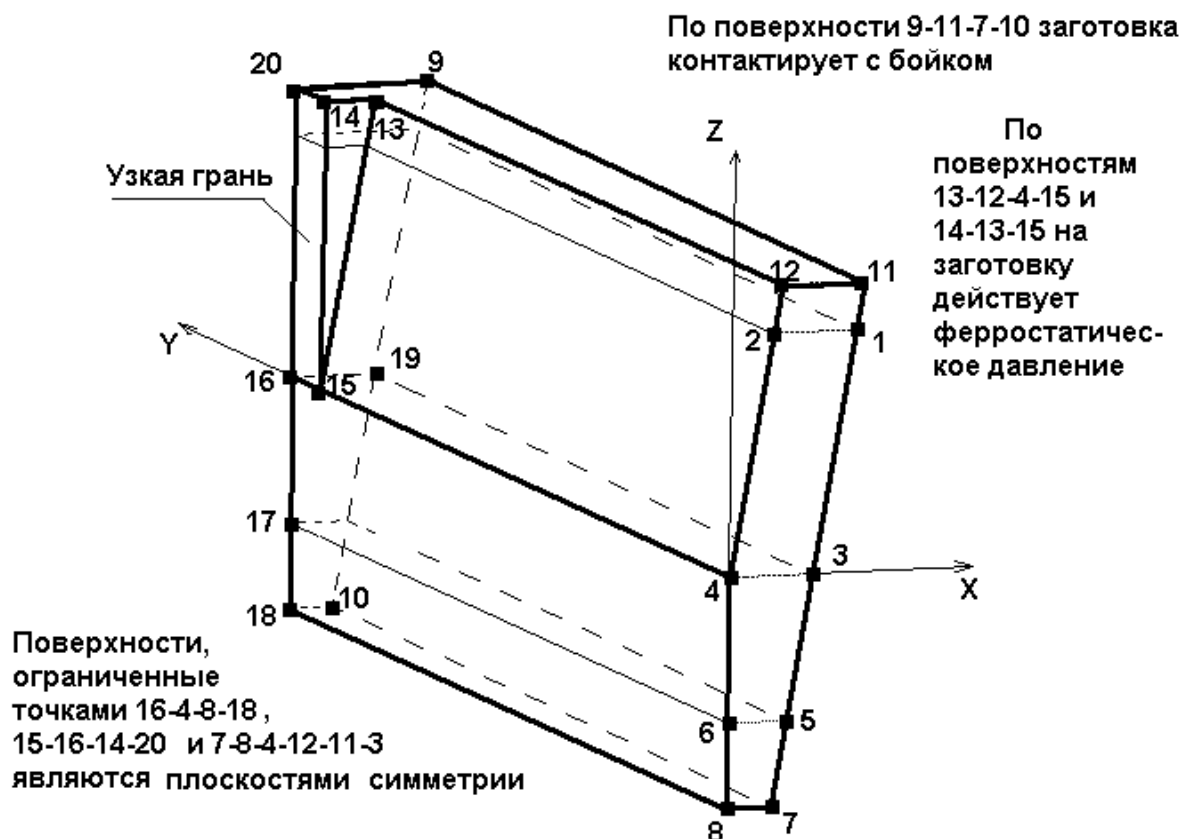


Рис. 2 - Объемная четверть очага деформации в системе координат XYZ, принятая для расчета (боек не показан)

В результате расчёта установлено, что при гибке узких стенок оболочки на их внешней поверхности вблизи середины возникают растягивающие напряжения и деформации, достигающие по мере сближения широких стенок оболочки 14 МПа и 0,6 %. Также проведена оценка влияния радиуса сопряжения стенок неразъёмного кристаллизатора на уровень растягивающих деформаций при гибке узких стенок оболочки слитка с жидкой фазой расплава. Установлено, что увеличение радиуса сопряжения стенок неразъёмного кристаллизатора с 5 мм до 40 мм приводит к снижению растягивающих деформаций с 0,6% до 0,209% и этот радиус 40 мм использован при проектировании неразъёмного кристаллизатора. Также проведено теоретическое исследование напряжённо-деформированного состояния металла в очаге деформации при получении листа. Определены напряжения в очаге деформации (Рис. 3), которые являются сжимающими и максимальные значения, которых: $\sigma_x = -22,33$ МПа; $\sigma_y = -12$ МПа; $\sigma_z = -16$ МПа.

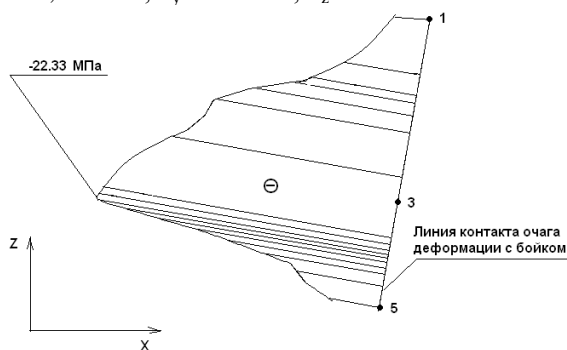


Рисунок 3. Характер напряжения по оси X вдоль линии 1-3-5 очага деформации

Касательные напряжения в области контакта очага деформации со стенкой – бойком (σ_{zx}) не превышают 5 МПа. Результаты расчёта свидетельствуют о благоприятной схеме напряжённого состояния в очаге деформации, поскольку металл при деформации находится практически в условиях всестороннего сжатия, что позволяет обрабатывать труднодеформируемые сплавы и способствует получению листа высокого качества.

Проведена оценка течения затвердевшего металла на границе с жидкой фазой расплава при его обжатии стенками-бойками. Установлено, что при деформации затвердевший металл не выдавливается в конус жидкой фазы расплава оболочки слитка, а перемещается в направлении процесса непрерывного литья и деформации.

Следующим этапом проектирования установки непрерывного литья и деформации является выбор оптимальных технологических, конструктивных и скоростных параметров, позволяющих снизить энергоёмкость технологического процесса (Э), выполнить заданную производительность (П) и получить лист высокого качества.

Учитывая актуальность экономии материально-энергетических ресурсов в качестве целевой функции целесообразно принять энергоёмкость технологического процесса (Э), а на другие показатели наложить ограничения. В качестве параметров управления принять величину эксцентриситета эксцентриковых валов (е) и угол наклона рабочей поверхности стенок-бойков сборного кристаллизатора (α), которые определяют величину подачи полосы (S) за цикл обжатия и единичное обжатие (Δh).

Таким образом, задача оптимизации параметров установки непрерывного литья и деформации может быть сформулирована следующим образом:

Минимизировать $\mathcal{E}(\bar{x})$, $\bar{x} = [e, \alpha]$ (1) при ограничениях:

$$P \geq P_3; M \leq [M]; e^{(1)} \leq e \leq e^{(2)};$$

$$\alpha^{(1)} \leq \alpha \leq \alpha^{(2)}; \varepsilon \leq [\varepsilon]; \omega \leq [\omega]; P \leq [P].$$

где ε – степень деформации листа, %

ω – угловая скорость эксцентриковых валов, c^{-1}

P – усилие деформации, кН

M – крутящий момент на эксцентриковых валах, кН·м

Для решения задач оптимизации использован комбинированный алгоритм, построенный на базе методов случайного поиска и симплекса и математическая модель совмещённого процесса непрерывного литья и деформации при получении листа из алюминия [1].

Диапазон изменения варьируемых параметров:

$$2,5 \text{ мм} \leq e \leq 7,5 \text{ мм}; 7,5^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ.$$

В результате расчёта установлено, что наибольшее влияние на расход энергии имеет угол наклона рабочей поверхности стенки-бойка – α . При изменении α от $7,5^\circ$ до 15° при величине эксцентриситета эксцентриковых валов $e = 5$ мм и производительности УНЛД 9 т/ч, расход энергии изменяется от 45 кВт·ч/т до 87 кВт·ч/т, причём угловая скорость эксцентриковых валов при этом изменяется от 52 об/мин до 107 об/мин. Величина эксцентриситета эксцентриковых валов в диапазоне 2,5 - 7,5 при одном угле α не влияет на расход энергии.

На основании проведённого исследования установлено, что для выполнения заданной производительности приняты оптимальные параметры: $\alpha = 10^\circ$ и $e = 5$ мм, угловая скорость эксцентриковых валов $n = 70$ об/мин. Таким образом, принятые параметры сборного кристаллизатора, величина эксцентриситета и угловая скорость эксцентриковых валов обеспечивают выполнение заданной производительности установки непрерывного литья и деформации, стабильность совмещённого процесса и получение листа из алюминия высокого качества [1].

На заключительном этапе проектирования установки непрерывного литья и деформации необходимо выбрать компоновку и определить

размеры несущих элементов рабочей клетки УНЛД, синхронизатора-редуктора и главной линии привода. Для этой цели используется компьютерное проектирование.

В результате определены основные параметры установки непрерывного литья и деформации для получения листа сечением $2 \div 4 \times 1500$ мм из алюминия:

- производительность – 9 т/ч;
- скорость выхода оболочки с жидкой фазой из неразъёмного кристаллизатора – 2 м/мин;
- скорость выхода листа толщиной 4 мм и 2 мм из кристаллизатора соответственно 9 и 18 м/мин;
- угловая скорость эксцентриковых валов – 70 об/мин;
- мощность привода электродвигателя постоянного тока – 800 кВт;
- габаритные размеры установки: 1800 (высота) \times 2000 (ширина) \times 2500 (длина) мм.

Заключение

Изложен новый подход к проектированию установок непрерывного литья и деформации, определены напряжения и закономерности течения металла в очаге деформации, определены оптимальные по энергоёмкости технологические, конструктивные и скоростные параметры и мощность приводного двигателя установки.

Список литературы

1. Лехов О.С., Комратов Ю.С. Совмещённые процессы непрерывного литья и деформации для производства проката. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. – 411 с.
2. Пат. №2077407 РФ Способ непрерывного литья заготовок и устройство для его осуществления / О.С. Лехов// БИ. 2000. №5
3. Лехов О.С., Комратов Ю.С., Туев М.Ю. Исследование совмещённого процесса непрерывного литья и деформации для получения листа из алюминия // Производство проката. 2009. №6. С. 41-43